

2

Descrição do Método Utilizado por Newton na Elaboração de sua Física

“Newton, o primeiro inventor de um sistema de física teórica, imenso e dinâmico, não hesita em acreditar que conceitos fundamentais e leis fundamentais de seu sistema saíram diretamente da experiência. Creio que se deve interpretar neste sentido sua declaração de princípio *hypotheses non fingo*.” (EINSTEIN, 1981, p.149).

2.1

O “Estilo Newtoniano”

Concordamos que uma frase proferida por Newton, muito a gosto dos cientistas indutivistas “ingênuos”, isto é, cientistas que crêem que a Física de Newton seria totalmente calcada na observação dos fenômenos naturais e que este filósofo seria o sucessor de Francis Bacon na linhagem dos filósofos empiricistas, se repete em vários textos: “(...) não invento hipóteses.” (NEWTON, 1999, p.943). Newton divulgou pela primeira vez esta célebre frase no “Escólio Geral” da segunda edição dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*. Entretanto, Cohen (2002, p.145), acreditava que Newton, através desta polêmica afirmação, estaria declarando a seus leitores e interlocutores que não seguiria, de forma alguma, o estilo de Descartes quando este afirmou a existência de um *vortex* -- um meio sutil, como veremos nos próximos capítulos -- para explicar o movimento planetário, baseado em apenas suposições que não feririam a sua “Filosofia Mecânica”. Nas palavras de Cohen:

Fazendo questão de não confundir especulações hipotéticas com as explicações científicas sólidas, Newton explicitou que nenhuma hipótese ou explicação hipotética -- fosse ela ‘metafísica’ ou física, versasse sobre qualidades ocultas ou mecânicas -- tinha lugar adequado na ‘filosofia experimental’. (COHEN *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.145).

Contudo, o peculiar uso que Newton fez dos métodos indutivo e hipotético-dedutivo, numa ordem pré-determinada ao elaborar sua Física, a introdução da

análise matemática, de modelos e de aproximações no estudo da natureza, seriam posteriormente reconhecidos e aclamados por muitos filósofos e historiadores da ciência - e copiado por tantos outros cientistas. Por sua vez, o historiador da ciência Cohen (2002, p.171), denominou essa utilização dos métodos citados, somados a outros aspectos de cunho epistemológicos que serão analisados ao longo deste capítulo, de “Estilo Newtoniano”. E o próprio Cohen que nos esclarece o alcance deste método:

(...) Newton conseguiu produzir um sistema matemático e princípios matemáticos que puderam então ser aplicados à Filosofia Natural, isto é, ao sistema do mundo e a suas regras e dados, tal como determinados pela experiência. Esse estilo permitiu que Newton tratasse problemas das ciências exatas como se fossem exercícios de matemática pura, e ligasse a experimentação e a observação à matemática de maneira singular e fecunda. (COHEN *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.171).

O cerne deste “Estilo Newtoniano”, segundo a definição do próprio Cohen em seu artigo *O Método de Newton e o Estilo de Newton*, seria a adaptação sucessiva das “construções mentais” -- matemáticas -- as comparações à natureza, isto é, do ponto de vista de Cohen (2002, p.164) haveria uma dinâmica direta entre as “construções mentais” -- matemáticas -- e os sistemas físicos⁴.

Assim sendo, uma das principais características do “Estilo Newtoniano” seria, primeiramente, a matemática e depois, uma série de experimentos e não o contrário. Acreditamos que fora a manutenção do rigor deste método que levara Newton a um conhecimento profundo do universo. Isto não quer dizer que Newton não tivesse dado a devida importância ao uso de dados provenientes das experiências na elaboração de sua Física. Nas palavras de Cohen: “O novo método era predominantemente experimental e diziam basear-se na indução; era também quantitativo, e não meramente observacional. Por conseguinte, poderia levar a leis e princípios matemáticos.” (COHEN, 2002, p.164).

Pensamos ser importante ressaltar que um dos principais problemas que os filósofos em geral e, particularmente, aqueles que se dedicaram à Filosofia da

⁴ Apesar de reconhecermos em Newton a grande influência do pensamento platônico é impossível não falar de sua Física em bases não construtivistas, pois, as questões trazidas por ele da natureza só se tornam reais, em termos de sua Física, depois de provada sua existência, ou melhor, após serem construídas e, posteriormente, fornecidas as provas de verdade. Esta afirmação é, de certa forma, contraditória, visto que, o construtivismo é uma doutrina contrária às doutrinas realistas e/ou platônicas – onde a matemática poderia existir de forma independente. Nesta dissertação, não estaremos nos aprofundando nesta contradição, apenas trataremos a Física Newtoniana como um *constructo*.

Natureza enfrentaram desde a Idade Média até os séculos XVII e XVIII, seria como tornar “o mais racional possível” o conhecimento proveniente da natureza, isto é, qual seria o melhor método de captação das questões relacionadas à Filosofia Natural e qual seria o melhor método de respondê-las. Sérgio L. de C. Fernandes em seu livro *Fundamentos do Conhecimento Objetivo* abordou esta questão e nos disse que:

Tal conhecimento [dos fenômenos naturais] foi então concebido, por muitos filósofos como, expressável pela matemática, funcional, relações entre leis que, mais do que meras regularidades pareciam refletir a necessidade física de relações externas entre corpos e seus estados. Racionalistas clássicos e empiristas semelhantes tinham, entretanto, concluído que, se as bases ontológicas da necessidade natural pudesse ser encontrada, então ela teria que residir em outro domínio que não aquele dos fenômenos naturais. (FERNANDES, 1985, p.36).

Destarte, acreditamos que um dos pontos mais relevantes na concepção do “Estilo Newtoniano” fora o modo pelo qual o raciocínio matemático de Newton teria sido adequado à análise de problemas físicos e à construção e alteração de modelos, constructos e sistemas imaginários e não a pura interpretação dos dados empíricos. Chegamos a esta conclusão intermediária, baseados na orientação histórica de Fernandes e na compreensão parcial do método utilizado por Newton, conforme descrito por Cohen. No entanto, argumentamos que, para Newton, do mesmo modo que para seu antecessor Galileu, alguns conceitos matemáticos fundamentais teriam suas origens na própria natureza, pois “Se a irreversível ordem do fenômeno era ser constituído racionalmente, ou inteligivelmente, então ele [o fenômeno natural] tinha que ser expresso matematicamente.” (FERNANDES, 1985, p.37). Um dos mais representativos antecessores de Newton, Galileu, no *Diálogo sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano*, chegou a afirmar que Deus teria se utilizado da geometria para descrever a natureza.

Desta forma, o que mais chamaria atenção no pensamento científico e no método newtoniano seria, então, a estreita interação da matemática com a sua Filosofia Natural - incluindo a Física e a metafísica. Segundo Smith (2002, p.148), Newton acreditava que os postulados fundamentais descritos nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* e os resultados finais da análise matemática baseada nesses postulados poderiam ser compatíveis com o mundo real -- mundo físico -- revelado pelos experimentos e pela observação crítica. Para Newton, a

matemática seria algo mais que um simples ferramental capaz de exprimir com clareza sua visão de mundo.

É importante destacar o fato de que a composição do “Estilo Newtoniano” não se limitava somente ao uso dos métodos indutivo e hipotético-dedutivo numa ordem pré-determinada, como alguns comentadores sugerem. O termo “Estilo Newtoniano” abraçava um complexo de procedimentos que, orquestrados conjuntamente, culminaram com a publicação das obras mais contundente de Newton: os *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* e a *Ótica*. Os métodos indutivo e hipotético-dedutivo seriam apenas algumas das características que comporiam o estilo original de Newton na descrição de sua Física, porém, outros muitos aspectos metodológicos diferentes apareceriam em sua ciência e a tornaria diferente das outras.

Um deles dizia respeito ao modo de se conceber, praticar e extrair conclusões de experimentos - o que deu a Newton o *status* de um grande físico experimental. De acordo com Cohen (2002, p.148), a Física Experimental, conforme concebida contemporaneamente, só teve início a partir da segunda metade do século XVII, visto que, os ilustres antecessores de Newton -- Galileu e Descartes -- efetivamente não procederam do mesmo modo que este filósofo com relação à maneira de responder as questões colocadas a eles pela natureza.

Em primeiro lugar, historicamente falando, tudo indica que Galileu e Descartes realizaram somente “experimentos imaginários”, mesmo sendo estes de grande valia para ciência. Contudo, estes filósofos ainda estavam longe de serem identificados como físicos experimentais. A título de ilustração, sobre a validade e importância dos “experimentos imaginários”, Koyré afirmou: “As experiências imaginárias, que Mach chamará ‘experiências de pensamento’ (...) e sobre as quais Popper acaba de nos chamar atenção, desempenharam um papel muito importante na história do pensamento científico” (KOYRÉ, 1991, p.209). Porém, a “experiência da física” como entendida contemporaneamente, só começou a ser praticada a partir das publicações de Newton, o que não diminui em nada a valorosa contribuição de Galileu e Descartes.

Em segundo lugar, na opinião de Smith (2002, p.159), a “ciência exata” descrita nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* não seria a mesma “ciência exata” de Galileu e Descartes, pois Newton conseguiu mostrar como o mundo seria se este fosse totalmente racional, mesmo não perdendo de vista a

dimensão metafísica dos problemas revelados pela natureza. Para Smith, Galileu e Descartes, cada um a sua maneira, ainda continuavam, mesmo que discretamente, atrelados a aspectos escolásticos, isto é, ambos continuavam valorizando a “forte” influência da religiosidade e da escolástica na Filosofia Natural.

2.1.1

As Origens do Método Newtoniano

Retornando a origem do método de Newton, ou do “Estilo Newtoniano”, esta foi intensamente comentada por Maurizio Mamiani em seu artigo *Mudando o Significado: A ‘Regulae Philosophandi’ de Newton Revisitada*⁵. Neste artigo, o comentarista advertiu-nos que Newton teria de fato se inspirado no método descrito por Robert Sanderson em seu livro *Logicae Artis Compendium*, de 1618 e não no *Discurso do Método*, de 1637, da autoria de Descartes⁶. Para Sanderson, assim como para Descartes e Newton, método seria sinônimo de encadeamento ordenado de fatos, porém, tanto Sanderson quanto Newton faziam uma distinção clara entre o método para se chegar a um conhecimento e o método para se apresentar ou ensinar algo. Descartes, por sua vez, jamais fizera tal distinção.

O primeiro método foi chamado por Sanderson de “método da invenção” e o segundo de “método da doutrina”. O “método da doutrina” poderia ser traduzido

⁵ Tradução das *Regulae Philosophandi*:

Regra 1: Não se devem admitir causas das coisas naturais além daquelas que sejam verdadeiras e sejam suficientes para explicar [seus] fenômenos.

A natureza é simples e não luxuriosa de causas supérfluas das coisas.

Regra 2: Enquanto for possível a efeitos naturais do mesmo gênero devem ser atribuídas as mesmas causas.

Regra 3: As qualidades dos corpos que não podem ser atribuídas e ao mesmo tempo negadas, e que competem a todos os corpos nos quais é possível realizar experimentos, devem ser entendidas como qualidades de todos os corpos. (Tradução: Professor Carlos Alberto Gomes dos Santos - PUC-Rio).

⁶ Um resumo do método de Descartes descrito no *Discurso do Método* (1956, pp.22-23) que, ao longo deste capítulo, tentaremos mostrar como Newton o teria aperfeiçoado, mesmo que este não tivesse lhe servido de inspiração: a) a primeira regra do método seria a “evidência”: não admitirmos nada como verdadeiro se não a reconhecermos evidentemente como tal. Em outras palavras, evitar toda a precipitação e toda preconceitos, e só termos por verdadeiro o que for “claro e distinto”, isto é, o que nós não poderíamos, de forma alguma, duvidar. Conseqüentemente, a “evidência” seria o que saltaria aos olhos: seria aquilo de que não poderíamos duvidar, apesar de todos os nossos esforços. A evidência seria o que resistisse a todos os assaltos da dúvida, apesar de todos os resíduos, o produto do espírito crítico. b) a segunda, seria a regra da “análise”: dividir cada uma das dificuldades em tantas parcelas quantas forem possíveis. c) a terceira, seria a regra da “síntese”: concluir por ordem os pensamentos, começando pelos objetos mais simples e mais fáceis de conhecer para, aos poucos, ascender, como que por meio de degraus, aos mais complexos. d) a última, a dos “desmembramentos” tão complexos a ponto de estar certo de nada ter omitido. Estas regras, segundo Mamiani, não formaram as bases do método newtoniano.

em duas vertentes distintas, a saber: a) o “método da composição” e b) o “método da resolução”. De acordo com Sanderson, as duas vertentes do “método da doutrina” seriam aplicáveis de formas diferentes: a) a composição seria aplicada às ciências teóricas e b) a resolução seria aplicada às ciências práticas. Sanderson, em seu livro, também teria listado cinco leis de aplicação comuns a ambos métodos, “composição” e “resolução”, mas não haveria leis de aplicação para o “método da invenção”. Este método se caracterizaria por seguir quatro passos distintos: a) sentido; b) observação ou história; c) experiência e d) indução. O “método da invenção” não teria nada em comum com o “método de resolução” ou de “análise”⁷.

Segundo Mamiani (2001, p.10), assim como Descartes, Newton considerou a “resolução” e a “composição” ou a “análise” e a “síntese” como dois métodos matemáticos. Entretanto, Newton utilizou em seus escritos os termos “resolução” e “composição”, como Sanderson o teria feito, em vez de “síntese” e “análise”, pois acreditava que estes termos estavam mais de acordo com a tradição lógica de sua época e mais ligados à sua visão da Filosofia Natural. E foi justamente devido à forte ligação dos termos “resolução” e “composição” com a Filosofia Natural que Mamiani (2001, p.10) achou estranho que Claude Clerselier, principal editor de Descartes, tivesse utilizado os termos “síntese” e “análise” na tradução para o francês dos textos de Descartes relacionados à Filosofia Natural. Para o comentador ocorreu, durante a tradução do latim para o francês, uma “contaminação lingüística” no uso pouco apropriado dos termos “síntese” e “análise”. Este fato teria prejudicado ainda mais a compreensão do método usado por Descartes nas suas investigações físicas. Já na linguagem newtoniana, “síntese” e “análise” ou “resolução” e “composição” tornaram-se, respectivamente, os métodos da “invenção” e da “doutrina”, conforme a metodologia de Sanderson.

⁷ Pensamos também, que esta classificação proposta por Sanderson teria dado origem ao que Karl R. Popper chamou contemporaneamente de “contexto da descoberta” e “contexto da verificação”, porém, não trataremos deste assunto nesta dissertação.

2.1.2

A Construção Lógica do “Estilo Newtoniano”

Uma visão mais técnica do “Estilo Newtoniano” foi dada por Smith no artigo *A Metodologia do Principia*. Para este autor, a expressão *if-quam proxime-then-quam proxime -- se-quanto mais próximo* “chegarmos do fenômeno”-*então-quanto mais próxima* “será a caracterização das leis que regem estes fenômenos”-- derivada do termo *if-then*, seria a base lógica do “Estilo Newtoniano”. Brillantemente, Newton teria concluído enquanto escrevia os *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* que descrever o movimento de planetas e satélites -- ou o movimento em geral -- com precisão absoluta, era imensamente mais complicado do que seus contemporâneos e antecessores poderiam pensar ou ter pensado.

Portanto, a solução encontrada por Newton foi, partindo de simples casos idealizados, ir passando progressivamente para outros casos mais complicados, também idealizados e depois percorrer o caminho oposto, isto é, através do desmembramento dos casos mais complicados, provar os casos mais simples, embora sempre em direção à verdade. Smith (2001, p.287), acreditaria que Newton teve uma extraordinária visão do caminho pelo qual uma seqüência de recursos matemáticos derivados da proposição *if-quam proxime-then-quam proxime* permitiria que o mundo empírico, principalmente o fenômeno do movimento planetário, respondesse, primeiramente, mesmo que por aproximação, a questões sobre a força que governava este movimento e depois às questões relativas ao movimento em geral, deixadas em aberto por Descartes e seus seguidores, conforme será discutido nos próximos capítulos.

Num primeiro momento, os *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* poderiam dar a impressão de estarem trilhando os mesmos caminhos lógicos que as obras de Galileu e Huygens, visto que Newton era, provavelmente, um profundo conhecedor das mesmas, porém, Smith (2002, p.142) diz que a obra de Newton diferiu das obras de Galileu e Huygens em dois aspectos, a saber: a) enquanto que todas as demonstrações das proposições empíricas dos Livros I e II, dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* eram da forma *if-then -- se-então -- e if-and-only-if -- se-e-somente-se --* bases da *if-quam proxime-then-quam proxime*, as demonstrações das proposições empíricas das obras de Galileu e

Huygens eram da forma *when-then* -- quando-então -- e b) enquanto Galileu apresentou uma teoria matemática para o movimento uniformemente acelerado e Huygens estendeu a teoria galileana para as trajetórias curvilíneas e para o movimento circular uniforme, Newton não apresentou uma teoria matemática para um único aspecto da Física, mas sim, para todo o tratamento que envolvia as forças e as leis que as regiam.

Sobre a primeira diferença, Smith (2002, p.142) a classificou de “engenhosa”, visto que logicamente falando, *if-then* e *when-then* significariam a mesma coisa. Contudo, numa visão empírica, a forma lógica *when-then* significaria que os antecedentes da proposição empírica descreveriam uma “situação experimental” enquanto que o conseqüente descreveria uma predição daquilo que iria ocorrer quando aquela situação descrita no antecedente se consumasse e, a forma lógica *if-then* equivaleria a “permissões” para inferir ou “navegar” de movimento para força, de força para movimento e das “macro-forças” para as “micro-forças” que as comporiam. Entendemos por macro-forças as “forças de ação contínua” como a “força centrípeta” e como “micro-forças” as “forças de percussão” que apesar de agirem num tempo infinitesimal, somadas, comporiam uma “força de ação” contínua - esta questão será detalhada no Capítulo 3. Por outro lado, acreditamos também que a proposição empírica *when-then* remontaria uma precisão fenomênica que não existiria em todos os instantes enquanto que as proposições empíricas *if-then* e *if-and-only-if* remontariam uma imprecisão fenomênica matematicamente tratável. Resumindo: “quando” não é “se”. O “quando” sugere uma certa assertividade da ocorrência do fenômeno e “se” deixa em aberto a probabilidade de ocorrência do fenômeno.

Assim sendo, tanto para Galileu quanto para Huygens, o importante seria caracterizar um fenômeno físico quando este se manifestasse, enquanto que a visão de Newton estava voltada para a interação dos fenômenos com as forças da natureza - seu principal objeto de estudo. Baseado nesta conclusão, Smith afirmou que:

Newton indica (...) no Prefácio da primeira edição [*do Principia*] [que], o objetivo das teorias matemáticas dos Livros 1 e 2 é primeiro estabelecer o significado para as conclusões inferidas dos fenômenos do movimento sobre as forças e então demonstrar, mais adiante, o fenômeno destas conclusões sobre as forças. Nas mãos de Newton, *força* é flagrantemente uma quantidade teórica. O principal problema

das teorias matemáticas de Newton é achar caminhos [válidos] para caracterizar essas forças. (SMITH, 2002, p.143).

A segunda diferença estava mais ligada ao escopo das teorias em si, visto que, como dito anteriormente, Galileu e Huygens se limitaram a aspectos físicos particulares de suas teorias enquanto que Newton abrangeu toda cinemática, baseado nos resultados obtidos pelo próprio Galileu, e, mecânica racional, por ele criada. Nas palavras de Smith:

O escopo genérico dessas (...) teorias não é simplesmente o caso de Newton mostrar sua habilidade matemática, como às vezes é sugerido. As teorias necessitam ser genéricas a fim de lhe permitir estabelecer conclusões fortes sobre as forças [derivadas] dos fenômenos dos movimentos, conclusões que excluem afirmações potencialmente competidoras. (SMITH, 2002, p.144).

Assim, de acordo com Smith (2002, p.143), a proposição *if-quam proxime-then-quam proxime* tornou-se a base lógica do “Estilo Newtoniano”. Através dela, Newton escapou das complexidades de estudar a natureza em si, conforme ela se apresentavam. O filósofo partiu de uma versão idealizada da natureza -- versão aproximada -- na qual algumas leis descritivas das posições e velocidades observadas, isto é, as Leis de Kepler⁸, aplicavam-se com uma perfeição incomparável. Logo após esta etapa, baseando-se em princípios e leis deduzidos da combinação do constructo com a observação natural, Newton passou para novos *constructos* e para novos princípios e leis, agora mais gerais. Desta forma, passo a passo, Newton chegou finalmente, a Lei da Gravitação Universal. Para Smith:

Newton tinha concluído que as leis de Kepler podem ser, no melhor dos casos, mais verdadeiras só *quam proxime* [quanto mais próxima] dos planetas e seus

⁸ Primeira Lei ou Lei das Órbitas: Os planetas descrevem órbitas elípticas em torno do Sol, que ocupa um dos focos da elipse descrita.

Segunda Lei ou Lei das Áreas: O segmento imaginário que une o centro do Sol e o centro do planeta varre áreas proporcionais aos intervalos de tempo dos percursos.

Terceira Lei ou Lei dos Períodos: O quadrado do período de revolução de cada planeta é proporcional ao cubo do raio médio respectiva órbita. $T^2 = k R^3$, ou melhor, $k = T^2 / R^3$.

Sobre as Leis de Kepler, este achava que o Sol estava num dos focos da elipse e que a área varrida pelo raio vetor que ligava o Sol aos planetas seria igual em tempos iguais. Por sua vez, Newton disse que isso não seria correto, pois não seria o Sol que estaria no foco da elipse. Num sistema de dois ou mais corpos, o centro de massa do sistema era o que estaria no foco da elipse. Além dessas correções devidas à consideração do movimento do Sol, haveria perturbações de todas as ordens, pois todos os corpos se atraem uns aos outros, sendo o movimento dos planetas regido não apenas pela atração do Sol, mas também pelas atrações mútuas dos outros planetas. Newton calculou essas perturbações introduzidas nos movimentos dos planetas e os publicou nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*. (CHAVES, 2000, pp.172-173).

satélites, não por causa da imprecisão da observação, mas porque os verdadeiros movimentos são imensamente mais complicados que Kepler ou outro [cientista] pudesse esperar entender de tais regras. (SMITH, 2002, pp.153-154).

Este tipo de tratamento dado por Newton a fenômenos naturais poderia pressupor uma certa utilização de estratégias *ad hoc* devido ao massivo uso de constructos matemáticos. No entanto, Smith (2002, p.157) acredita que Newton queria de fato era evitar tais estratégias, principalmente com relação à questão das forças ligadas a Lei da Gravitação Universal. Isso porque esta Lei não poderia ser verificável da mesma forma que eventualmente as outras Leis da Física o seriam, pois não haveria como investigar se todas as partículas mecânicas do universo realmente se atraem conforme fora dito em seu enunciado.

Em um outro artigo intitulado *O Estilo Newtoniano no Livro II do Principia*, Smith analisa particularmente o “Estilo Newtoniano” do Livro II, comparado aos Livros I e III. Segundo Smith (2001, p.249), a descrição dada por Cohen para o “Estilo Newtoniano” aplicado aos Livros I e III enfatizava o modo pelo qual as teorias matemáticas utilizadas pelo filósofo eram submetidas a uma seqüência de aproximações. Esta seqüência, como vimos anteriormente, obedecia à forma lógica, *if-quam proxime-then-quam proxime*. Newton começou sua narrativa nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* idealizando um único corpo. Mais adiante o filósofo introduziu um segundo corpo ao sistema e finalmente, introduziu o terceiro corpo, criando a partir daí um sistema generalizado.

Para Smith (2001, p.250), em total acordo com a teoria de Cohen, o importante seria notar que cada sucessiva idealização do sistema prolongava a idealização do sistema antecedente, abandonando a hipótese matemática anterior por outra mais complexa. Neste contexto, a hipótese defendida por Smith (2002, p.160) na qual Newton teria uma visão da ciência que progrediria através de sucessivas aproximações dos modelos matemáticos, nos pareceu bastante coerente e ainda corroboraria o modelo de Fernandes (1985, p.230), baseado na análise dos pensamentos de Immanuel Kant e Karl Popper. Para esse comentador, toda idealização -- matemática ou não -- pressuporia, ou melhor, exigiria a existência de hipóteses implícitas, isto é, no caso de Newton, este, apesar da visão empírica e do uso intenso dos modelos matemáticos, já teria em mente a solução do problema que ele se propôs a dar por meio de idealizações.

Complementando a visão do “Estilo Newtoniano” nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, particularmente sobre o Livro II, Smith (2001, p.249) afirmou que devido ao mundo empírico nele tratado possuir características diferentes do mundo empírico tratado nos Livros I e III -- o Livro II ficou conhecido por tratar de problemas relacionados à meios mais densos, como por exemplo, a hidrostática -- mesmo assim, este volume foi capaz de dar um “brilho” especial ao “Estilo Newtoniano” de Cohen. Para muitos, a excessão da crítica ao vórtice cartesiano - Proposição 53, Teorema 41, o Livro II parecia ser uma mera digressão do Livro I, que apontava claramente para o Livro III. Porém, para Smith (2001, p.249), Newton considerava o Livro II como parte do mesmo projeto que o levou a escrever os Livros I e III, isto é, matematizar de vez a natureza. Mesmo concordando inteiramente com Cohen sobre as particularidades que envolvem o “Estilo Newtoniano” nos Livros I e III, Smith, nos dois artigos supracitados, procurou, usando seus próprios termos, “embelezar” ainda mais este estilo com duas novas análises.

Na primeira, Smith partiu do seguinte princípio: “(...) até a mais simples das idealizações [feitas por Newton] era mais do que somente um passo matemático para o próximo [estágio].” (SMITH, 2001, p.250), como já havia afirmado Cohen. De acordo com Smith (2001, p.250), Newton teria usado idealizações até mesmo para extrair conclusões dos fenômenos observados pelos astrônomos de sua época, descritos no Livro III e, freqüentemente, estas conclusões tomariam a forma de “medidas de quantidades inferidas”. Por exemplo, Newton inferiu dos fenômenos observados, utilizando o modelo idealizado de um único corpo: a) a massa do Sol; b) a massa de Júpiter; c) a massa de Saturno e d) o valor do expoente de r^9 na Lei da Gravitação Universal. Para Smith, teria sido a estabilidade da matemática e do modelo idealizado, a concordância mútua entre ambos e a precisão das medidas provenientes dos dados empíricos fornecidos pelos astrônomos, os responsáveis pelo sucesso da nova Física de Newton: “Independentemente do tipo de inferência que ele estava extraindo [da natureza], Newton estava usando a idealização como instrumento de condução de evidências.” (SMITH, 2001, p.250).

Na segunda, Smith (2001, p.250) defende a hipótese de que não seria qualquer tipo de aproximação que permitiria uma investigação empírica de

⁹ A Lei da Gravitação Universal, representada pela “força centrípeta”, em sua forma contemporânea é: $F = G m_1.m_2 / r^2$

sucesso, pois, como podemos prever, poderia haver “discrepâncias residuais” deixadas entre uma idealização e outra mais refinada. Em termos newtonianos, algumas dessas “discrepâncias residuais” deveriam equivaler a fenômenos dos quais conclusões poderiam ser extraídas, especialmente conclusões que estabeleceriam a próxima idealização na seqüência de aproximações sucessivas. Por exemplo, as desigualdades lunares -- a variação da gravidade lunar de acordo com a latitude e a idealização da densidade uniforme da Terra¹⁰ -- forneceriam evidências de que as “discrepâncias residuais” poderiam se tornar fenômenos. Para Smith (2001, p.251), Newton extraiu conclusões surpreendentes de algumas destas discrepâncias, porém, deixou outras de lado, talvez para serem exploradas em um momento mais oportuno.

Portanto, a seqüência de idealizações, na Física de Newton, era: a) a principal responsável pelas sucessivas aproximações e b) obrigatoriamente, empírica. Esta seqüência de idealizações solicitava um tipo especial de aproximação, visto que, não seria qualquer tipo de aproximação que poderia ser capaz de produzir uma “discrepância residual” quando comparada com a observação que finalmente estaria disposta em evidências para a próxima aproximação. Nas palavras de Smith:

Quando eu falo do ‘Estilo Newtoniano’, então, eu estou me referindo a uma aproximação envolvendo uma seqüência de aproximações de idealizações, [onde] cada qual é usada para extrair conclusões do fenômeno, e que juntas abrangem sucessivas aproximações na qual discrepâncias residuais entre a teoria e a

¹⁰ Sobre as “discrepâncias residuais”: a) Newton ao utilizar a Terceira Lei de Kepler aproximando as órbitas elípticas para circulares, obteve resultados segundo os quais, em vários planetas do sistema solar, a aceleração seria inversamente proporcional ao quadrado da distância e então testou se isto se aplicaria ao caso da Lua. A aplicação de tal aproximação à Lua teria características numéricas bem interessantes. A distância da Lua à Terra seria de aproximadamente 60 raios terrestres. E 1 minuto de tempo tem 60 segundos. Se a aceleração fosse, de fato, inversamente proporcional ao quadrado da distância, então a aceleração da Lua seria $1/3600$ ou $1/60^2$ da aceleração na superfície da Terra. Newton sabia qual o espaço percorrido por uma pedra em queda perto da superfície da Terra em 1 segundo, pois conhecia o valor da aceleração da gravidade na Terra. Logo, a distância que uma pedra cairia em 1 segundo assumiria dimensões muito menores -- proporção de $1/3600$ -- se estivesse na posição em que a Lua estaria em relação à Terra. Por causa dessa coincidência numérica Newton fez a seguinte conta: o espaço percorrido na queda de uma pedra em 1 segundo na Terra deveria ser igual ao espaço percorrido na queda em 1 minuto na Lua, já que o espaço percorrido seria proporcional ao quadrado do tempo no movimento uniformemente acelerado - sendo o quadrado do tempo 3600, do segundo para o minuto, isso compensaria a variação da distância. A partir desta conclusão, estando a Lua sujeita exatamente a essa mesma influência, ela deveria então estar caindo em direção à Terra nessa mesma distância em 1 minuto. Newton percebeu, então, a quase exata concordância entre tal espaço percorrido na Terra e na Lua. Posteriormente, utilizando os dados astronômicos e medidas do raio da Terra, o filósofo notou que essa concordância não era totalmente exata e concluiu que haveria algum erro em sua teoria, em vez de pensar sobre a hipótese dos dados estarem errados. (CHAVES, 2000, pp.172-180).

observação em cada estágio providencia evidências de base para o próximo estágio. (SMITH, 2001, p.251).

Destarte, de forma bastante sintética e baseada nos comentários de Cohen e Smith, esse “Estilo Newtoniano” consistiria em tratar um sistema físico de modo idealizado -- matemática, modelos, aproximações -- utilizando-se, primeiro, a indução e, depois, a dedução, confrontando-o com a realidade da natureza -- através de experimentos reais -- e, finalmente, ajustando-o em direção à verdade. David Gregory, contemporâneo e admirador de Newton, parece ter compreendido com uma clareza inigualável o modo com que o filósofo tratava os problemas que a natureza a ele se desvelava e nos revelou, baseado em sua própria análise dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* que:

A melhor maneira de superar um problema difícil é resolve-lo em alguns casos particulares fáceis. Isso esclarece muito a solução geral. É dessa maneira que Sir Isaac Newton afirma ter superado as [suas] maiores dificuldades. (GREGORY *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.150).

Mesmo assim, Cohen (1999, p.12) afirma que Newton teria escrito os *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* não com a intenção de inaugurar uma nova ciência baseada em um novo método, mas, somente no intuito de encontrar a “forma geométrica” da órbita planetária produzida por uma força que variasse com o inverso do quadrado da distância. Esta teria sido uma questão posta por Halley a Newton. Segundo este historiador, Newton, profundo conhecedor do pensamento de Johannes Kepler, já sabia que a “forma geométrica” da órbita planetária era elíptica. Este fato poderia levantar dúvidas sobre qual seria a real definição de “indução” referida por Cohen (2002, p.166) e Smith (2002, p.139) visto que Newton saberia exatamente aonde chegaria.

2.1.3

Sobre o Uso da Indução e das “Hipóteses”

Por outro lado, Koyré (1968, p.53), em seus *Estudos Newtonianos*, afirmou que se nos basearmos nas palavras de Newton quando este filósofo nos disse que:

(...) não invento hipóteses. Portanto tudo o que não é deduzido dos fenômenos deve ser chamado de hipótese; e as hipóteses, se metafísicas ou físicas, baseadas em qualidades ocultas, ou mecânicas, não tem lugar na filosofia experimental. Nessa

filosofia experimental proposições são deduzidas [inferidas] de fenômenos e [depois] generalizadas por indução (NEWTON, 1999, p.943).

seria deveras fácil atribuir a Física de Newton um caráter totalmente positivista. Isto significaria dizer que Newton teria se utilizado largamente do método indutivo na formulação de sua Física e que o uso do método hipotético-dedutivo teria sido apenas uma consequência proveniente do emprego habitual da geometria euclidiana, base de seu método, como sua principal ferramenta matemática.

Por esta razão, estaria então justificada a presença do método hipotético-dedutivo ao longo das proposições, lemas e problemas dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*. Porém, como já vimos nas seções anteriores, não podemos ignorar que a relação entre a geometria euclidiana e a Física, para Newton, ultrapassaria o mero uso de uma ferramenta matemática. Assim, devido a estas contradições a respeito do método utilizado por Newton que Koyré (1968, p.53) argumentou ser muito difícil saber o que exatamente Newton estava querendo dizer quando proferiu aquela que seria a sua mais famosa frase: “(...) não invento hipóteses.” (NEWTON, 1999, p.943).

Larry Laudan em seu artigo *Teorias do Método Científico de Platão a Mach*, fez uma curiosa observação sobre a famosa frase de Newton: “É certamente irônico (...) que autores sobre a teoria do método científico de Newton têm algumas vezes devotado mais atenção para o que ele queria dizer por ‘inventado’ do que ele queria dizer por ‘hipóteses’” (LAUDAN, 1968, p.8). Mas seria o próprio Newton que, em carta a Cotes datada de 28 de março de 1713, esclareceria o uso do termo “hipótese” em seus escritos:

(...) a dificuldade que o senhor menciona haver nas palavras ‘*Et cum Attractio omnis mutua sit*’ [E uma vez que toda atração é mútua] é eliminada ao considerarmos que, assim como, na geometria, a palavra hipótese não é tomada num sentido tão amplo que inclua os axiomas e os postulados, também na filosofia experimental ela não deve ser tomada em sentido tão amplo a ponto de incluir os princípios ou axiomas primordiais que denomino de leis do movimento. Esses princípios são deduzidos dos fenômenos e generalizados por indução, o que é a mais alta comprovação que uma proposição pode ter nessa filosofia. E a palavra ‘hipótese’ é usada por mim, (...), apenas para expressar uma proposição que não seja um fenômeno nem seja deduzida de qualquer fenômeno, mas presumida ou pressuposta, sem nenhuma comprovação experimental. (NEWTON *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.155).

De acordo com Laudan, apesar de Newton ter vários escritos sobre seu método, nenhum deles deixou claro o que ele realmente utilizou como “método científico”, principalmente na elaboração dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*. Para Laudan, o vocabulário utilizado por Newton, nas questões relacionadas a seu método de investigação, “foi vaga e inconsistentemente aplicada”. Segundo o epistemólogo, Newton não deixou claro o que ele quis dizer com “não invento hipóteses” e o que seria “deduzir” ou “induzir” leis de fenômenos naturais. Estes conceitos significavam ora uma coisa, ora outra. Neste ponto Laudan pareceu concordar inteiramente com Koyrè em seus *Estudos Newtonianos* onde ao analisar o método utilizado por Newton, também se mostrou titubeante com relação aos mesmos termos -- “não invento hipóteses”, “deduzir” ou “induzir” leis de fenômenos naturais, entre outros -- ligados a metodologia dos escritos de Newton.

A análise de Laudan mostrou também que o historiador da ciência Richard Blake via Newton como o fundador do método hipotético-dedutivo enquanto que, um outro historiador da ciência, W. Whewell pensava que o grande erro de Newton foi a “denúncia prematura de todas as suas hipóteses”. Mesmo perplexo com relação a certos termos ligados a metodologia newtoniana, Koyré, finalmente concluiu que os arroubos indutivistas de Newton seriam meras necessidades locais, isto é, caso o filósofo tivesse mesmo se utilizado deste método, teria sido única e exclusivamente para resolver questões pouco relevantes em sua Física. Este historiador e filósofo da ciência, apesar de admitir que às vezes teria ficado confuso com relação às palavras proferidas por Newton sobre seu método, não admitia que Newton pudesse cometer tal “falha metodológica”.

Particularmente, sobre a questão das hipóteses newtonianas, pensamos que talvez Newton não fosse totalmente contrário a utilização das mesmas, pois senão ele nem teria dito que “não as inventava” e nem seria apontado por historiadores e filósofos da Física como um dos fundadores da Física Experimental. É provável que Newton acreditasse que as hipóteses seriam fontes inesgotáveis de experimentos e sendo assim, a expressão “não invento hipóteses” estaria mais associada à impossibilidade de comprovação destas experimentalmente, como fora o caso do vórtice cartesiano. Nas palavras escritas por Newton a Oldenburg em 1672:

Pois o melhor e mais seguro método de filosofar parece consistir, primeiramente, em investigar com diligência as propriedades das coisas e estabelecer essas propriedades através de experimentos, e, depois, em proceder a hipóteses para a explicação das coisas em si. (NEWTON *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.156).

E no mesmo ano, Newton, em outra carta a Oldenburg, completou:

O senhor [Oldenburg] sabe que o método adequado para investigar as propriedades das coisas é deduzi-las de experimentos. E eu lhe disse que a teoria que propus foi-me evidenciada *não por inferência de que é assim porque não pode ser de outra maneira*, ou seja, não por deduzi-la unicamente de uma refutação das suposições contrárias, mas *por deriva-la de experimentos que levaram a conclusões positivas e diretas*. (NEWTON *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.157).

2.2

Sobre os Métodos de Análise e Síntese

Iniciaremos esta seção citando uma parte de uma curiosa resenha, escrita por Newton, sobre o livro *Commercium Epistolicum*, publicada nas *Transações Filosóficas*:

Os Antigos tinham dois Métodos na matemática que eles chamaram de Síntese e Análise, ou Composição e Resolução. Pelo método da Análise eles descobriram seus inventos e pelo método de Síntese eles os compuseram para o público [os publicaram]. Os Matemáticos dos últimos tempos têm melhorado bastante o método da Análise e tem deixado de lado o método da Síntese, pois pensaram que tinham solucionado um problema quando eles tinham somente os resolvido, e é por isso que método de Síntese tem sido deixado de lado. As Proposições do livro em questão foram inventadas [utilizando-se o método] da Análise. Mas considerando-se que [eles eram] os Antigos (até onde posso crer) não admitiram nada na Geometria antes que fosse demonstrado pela Composição eu ajustei o que inventei pela Análise para fazê-las [mais] Geometricamente autênticas e ao gosto do público. (NEWTON *apud* MAMIANI, 2001, pp.9-10).

Mesmo não se tratando de uma obra de sua autoria, seria plausível deduzir desta resenha que, para Newton, os métodos de análise e síntese poderiam, sem sombras de dúvida, serem considerados, como os métodos básicos da investigação científica. Seriam dois processos de raciocínio que norteariam a pesquisa, a investigação e a discussão nas ciências como um todo. Assim, todas as ciências, sejam elas naturais ou humanas, apoiar-se-iam nesses dois métodos, ou pelo menos em um deles. Segundo Fernandes, durante os séculos XVII e XVIII “Análise era naquele tempo *associada* (não identificada) com indução e síntese

com dedução.” (FERNANDES, 1985, p.38). Assim, neste capítulo e particularmente nesta seção, estaremos alternando os termos “análise” e “indução” e, “síntese” e “dedução”, sempre que acharmos necessário para a compreensão de um outro aspecto do método newtoniano ou do “Estilo Newtoniano”.

Grosso modo, a análise consistiria na decomposição de um todo em suas partes. Seria o que acontece quando um químico fizesse experiências para descobrir os elementos que compõem uma substância ou quando um professor de Português mostrasse aos alunos as diversas funções sintáticas num texto. Nesses dois exemplos, a análise estaria sendo colocada em prática. A síntese, por sua vez, seria o oposto da análise. Ela seria um método em que se iria da parte para o todo, das causas para os efeitos. Exemplos: a) o químico misturando elementos para obter determinada substância; b) o médico perguntando o que o paciente sente para fazer o diagnóstico e c) um aluno fazendo uma série de operações para chegar à resposta de um problema de matemática. Lembramos que, nos casos supracitados, estaria sendo colocada em prática a síntese, porém, como Smith em seu artigo *A Metodologia do Principia* e outros comentadores de Newton, acreditamos que, durante a prática científica newtoniana, esses dois métodos, embora opostos, foram utilizados de forma complementar. Somente a título de ilustração, na matemática, a análise significaria a utilização de métodos algébricos enquanto que a síntese faria uso de métodos geométricos.

Uma outra definição dos métodos de análise e síntese, histórica, dinâmica, elucidativa e detalhista, perfeitamente passível de ser inserida na própria definição desses métodos, conforme dada por Newton na Questão 31 da *Ótica*, foi discutida por Fernandes como se segue:

A análise foi usualmente tomada, através dos séculos dezessete e dezoito, como o caminho metodológico condutor dos fatos às teorias; a síntese, das teorias aos fatos. A análise era pensada a proceder do desconhecido para o conhecido, ou do relativo para o absoluto; a síntese, do conhecido para o desconhecido, ou da certeza absoluta (pelo menos no sentido dado por Descartes) para a certeza relativa. O caminho [trilhado pela] análise era pensado do empírico, ou empiricamente conhecido, para o racional, ou racionalmente conhecido; o caminho da síntese, do racional para o empírico. O que realmente importava na análise era a confirmação; na síntese a prova. Enquanto a análise procedia via experimentos, a síntese procedia via sistematização, ou embutindo os resultados da análise em extensas teorias. A análise era essencialmente uma subtração, ou abstração; a síntese, uma adição ou construção. A análise reduziu complexos, como experiências complexas, a seus simples constituintes; a síntese reconstruía estes complexos a partir destes [constituintes] simples. A análise era um regresso ao simples, que é, o mais simples

para entender, intuitivamente, ainda que o mais difícil para identificar; a síntese um progresso do simples para o complexo. (FERNANDES, 1985, p.39).

Por sua vez, Koyré em seu artigo, *As Origens da Ciência Moderna - Uma Nova Interpretação*, analisou a tese do historiador A. C. Crombie, partidário de uma evolução contínua da ciência, contrária a sua tese da descontinuidade, sobre as origens e o uso dos métodos de análise e síntese na ciência moderna. Koyré (1991, p.67), não acreditava que o nascimento e o desenvolvimento da ciência moderna, onde a Física Newtoniana ocuparia um lugar de destaque, poderiam ser simplesmente explicados pelo desvio da teoria para a prática, isto é, pelo simples advento da ciência experimental na Idade Média. Para Koyré, esta explicação não expressava o cerne do desenvolvimento do pensamento científico que ocorreu a partir da segunda metade do século XVI e se consolidou durante os séculos XVII e XVIII. Em suma Koyré afirma que Crombie queria: “(...) demonstrar que a ciência moderna não só tem suas fontes profundas no solo medieval, mas também que (...) por sua inspiração metodológica e filosófica, é uma invenção medieval (KOYRÉ, 1991, p.57)”. Segundo Koyré (1991, p.57), Crombie estabeleceu em sua obra, *Roberto Grosseteste e as Origens da Ciência Experimental*, que o método aplicado às ciências modernas teve sua origem na Idade Média. Nas palavras de Crombie:

O traço distintivo do método científico do século XVII, se se o compara com o da Grécia antiga, era sua concepção da maneira pela qual uma teoria devia estar ligada aos fatos observados que ela se propunha explicar, a série de passos lógicos que ele comportava para edificar teorias e submetê-las a controles experimentais. A ciência moderna deve profundamente seus êxitos ao uso desses métodos indutivos e experimentais, que constituem o que muitas vezes se chama o *método experimental*. (CROMBIE *apud* KOYRÉ, 1991, p.57).

De acordo com o pensamento de Koyré (1991, p.58), os problemas mais importantes aos quais poderíamos aplicar o método científico diriam respeito ao relacionamento entre as teorias científicas e os fatos apurados. Assim, o principal objetivo do método seria fixar quais seriam as condições que a teoria científica em questão deveria satisfazer para ser aceita, ou melhor, “decidir se uma teoria é válida ou não” (KOYRÉ, 1991, p.58) - em termos medievais, seria aplicar a “verificação” e a “falsificação”. Crombie, ao contrário de Koyré, acreditava que os filósofos medievais do século XIII “contraíram” um conceito de ciência e

método científico da mesma espécie que as de Galileu, Descartes e Newton e afirmou que:

A concepção da estrutura lógica da ciência experimental, defendida por sábios eminentes, como Galileu, Francis Bacon, Descartes e Newton, era precisamente aquela que tinha sido elaborada nos séculos XIII e XIV. Eles herdaram também a contribuição concreta que as diversas ciências receberam durante aquele período. (CROMBIE *apud* KOYRÉ, 1991, p.59).

Para Koyré (1991, p.70), o lugar que a metodologia ocuparia no desenvolvimento de uma ciência não seria no início desta, mas sim, no meio. O pensador defende que as ciências nunca tiveram seus inícios em um *tractatus de methodo*, nem nunca progrediram às custas da aplicação de um método de forma abstrata¹¹. No caso de particular de Newton, Koyré (1991, p.72) defende uma posição diametralmente oposta a de Crombie. Este historiador, ao contrário de Koyré, acreditava que Newton fizera uso somente do método experimental no desenvolvimento de sua Física. Assim, ele revelou que:

Seu método [de Newton] matemático era realmente ligado às observações, da mesma maneira que a ‘ciência superior’ matemática dos comentadores de Aristóteles, ciência que ‘fornece a razão de alguma coisa da qual a ciência inferior fornece o fato’, mas que não fala das causas dessa coisa. (CROMBIE *apud* KOYRÉ, 1991, p.76).

Por outro lado, Koyré concorda com Crombie quando este elogiou o fato de Newton ter utilizado amplamente o método matemático na elaboração de sua Física, de maneira oposta a Descartes que descreveu *a priori* o método que seria usado nos seus escritos científicos. Porém, Koyré (1968, p.58), de maneira discreta, menciona o fato que Newton também poderia ter se utilizado de outros métodos, além do método matemático, na elaboração desta Física. Sabemos que Koyré era um defensor entusiasmado do método hipotético-dedutivo, como único método utilizado por Newton em sua Física, contudo, como vimos anteriormente, o autor em vários momentos cogita, mesmo que remotamente, que Newton pudesse ter lançado mão de outros estratégias.

Comparando os métodos utilizados por Descartes e Newton, um contemporâneo do segundo, Maclaurin (2002, p.159), opôs à utilização do método newtoniano ao cartesiano, método este que também se utilizara amplamente da

¹¹ Descartes, ao escrever seu *Discurso do Método*, procurou mostrar exatamente o contrário.

dedução -- análise -- porém, somente aplicável aos escritos sobre matemática, no caso, sobre a geometria. Vale lembrar que Maclaurin fora o seguidor escocês mais proeminente de Newton. Este autor tornou-se conhecido em sua época por refutar duramente o ataque de George Berkeley à questão do cálculo infinitesimal de Newton aplicado a sua teoria da Gravitação Universal¹². Porém, o mais importante trabalho de Maclaurin fora sobre, o que chamamos contemporaneamente de “Estilo Newtoniano”. Este “Estilo Newtoniano”, como já dito anteriormente, envolvia um relacionamento particular entre modelos matemático sofisticados e dados empíricos.

Sobre os métodos utilizados por Descartes e Newton, acreditamos que a oposição entre eles tenha ocorrido devido às diferenças no modo de pensar a natureza apresentadas por Newton e Descartes. Por exemplo, Newton era um filósofo cuja intuição para concluir resultados a partir da observação da natureza era bem diferente da de Descartes. Enquanto que a intuição cartesiana estava fortemente arraigada as idéias “claras e distintas” que, no final, agiram como um fator limitante para Filosofia Natural cartesiana, a intuição newtoniana já apresentava algumas características básicas da intuição do físico contemporâneo - uma delas seria a preocupação com a precisão dos resultados obtidos através da observação e da experimentação, conforme dito por Crombie anteriormente. A posição newtoniana ficaria bem mais clara no enunciado da Regra 4, do Livro III, dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*:

Na filosofia experimental, as proposições estabelecidas por indução, a partir de um fenômeno, devem ser consideradas exatamente ou proximamente verdadeiras, não obstante quaisquer hipóteses contrárias; até que outro fenômeno ocorra e torne a proposição [nova] mais exata ou confiável ou sujeita a exceções.

Esta regra deve ser seguida para que os argumentos baseados na indução não possam ser anulados por hipóteses. (NEWTON, 1999, p.796).

¹² Segundo A Rupert Hall no livro *De Galileu a Newton*, no livro *O Analista* do bispo anglicano George Berkeley, escrito no início do século XVIII, o filósofo afirmou que o “Método das Fluxões” que dera origem ao cálculo infinitesimal de Newton estava errado. Com esta crítica, a nova matemática que brotava dos resultados de Descartes, Blaise Pascal e Leibniz teve sua base de credibilidade seriamente comprometida, independente da polêmica sobre a invenção do cálculo ocorrida entre Leibniz e Newton. Berkeley, ironicamente, indagava como Newton obteve suas derivadas, pois primeiro ele incrementava a função de um valor infinitesimal δ , depois, após a execução da álgebra $[f(x+\delta) - f(x)] / \delta$, ele dizia ser δ muito pequeno, portanto muito próximo de zero. Por que δ não seria desprezível no início do cálculo, visto que era tão pequeno? E ele mesmo respondia que seria porque se assim o fosse, o cálculo não funcionaria. Para Berkeley, fazer δ igual a zero resultaria na indeterminação do zero dividido pelo zero.

Todavia, como já dissemos, Descartes também utilizou o método de análise com bastante sucesso em suas incursões pela geometria, mas não o utilizou em suas incursões pela metafísica e Filosofia Natural. Talvez seja por isso que ambas, metafísica e Filosofia Natural de Descartes, não serviram totalmente de inspiração para Newton: elas serviram ora de exemplo, como no caso da Lei da Inércia, visto que Descartes a enunciou antes de Newton, ora de contra-exemplo, como no caso da definição de movimento. Ambos, exemplo e contra-exemplo serão amplamente discutidos nos capítulos seguintes.

Objetivando esclarecer o que significou a utilização dos métodos de análise e síntese para Newton, tendo como contraponto o método de Descartes, Maclaurin nos disse que:

Há que se conceder inteira liberdade a nossas investigações, para que a Filosofia Natural possa se tornar serva dos mais valiosos propósitos e adquirir toda certeza e perfeição de que é capaz: mas não devemos abusar dessa liberdade, *presumindo* em vez de *indagar* e imaginando sistemas, em vez de aprender pela observação e pela experiência a verdadeira constituição das coisas. (MACLAURIN, 2002, p.159).

Nessa citação acreditamos que Maclaurin conseguiu resumir de forma simples e direta o método utilizado por Newton na constituição de sua Filosofia Natural. Newton teria percebido na Filosofia Natural de Descartes uma série de “presunções”, sendo que a principal delas seria a existência de uma matéria sutil denominada *vortex* responsável pelo movimento planetário, no lugar de “indagações” genuínas. Estas “presunções”, na opinião de Newton, só geraram resultados confusos e pouco confiáveis. Newton percebeu que era necessário recorrer de forma sistemática à natureza que para ele, assim como para Descartes, seria a grande provedora de problemas a serem resolvidos.

No entanto, os *Princípios de Filosofia* de Descartes e os *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* de Newton diferiam em quase tudo, exceto nas idéias baseadas no modelo mecanicista, criado a partir de uma “Filosofia Mecanicista”. Mesmo assim, futuramente veremos que Newton ampliaria o escopo dessa “Filosofia Mecânica”, incluindo em seu domínio as forças de ação à distancia.

Para Maclaurin (2002, p.160), Newton propõe que nas investigações de fenômenos naturais fossem utilizados os métodos de “análise e síntese”, numa

ordem adequada. Sobre a definição dos métodos de análise e síntese, conforme utilizados por Descartes, Koyré esclareceu:

Nas matemáticas, a progressão do mais simples e do melhor conhecido ao complexo era chamada ‘síntese’ pelos gregos e a progressão do mais complexo ao mais simples, ‘análise’. Mas, num certo sentido, não há diferença fundamental entre esses processos, ou métodos, tendo em vista que tanto as premissas como as conclusões são indiscutíveis, necessárias e até evidentes por si mesmas.

A situação é totalmente diferente nas ciências naturais. Os princípios simples não são, absolutamente, evidentes, nem mesmo melhor conhecidos do que os fatos complexos apresentados. A simples indução empírica não nos conduz ao fim desejado. Há um salto entre ela e a asserção elucidativa, causal. A fim de preparar esse salto, devemos utilizar um método análogo ao da análise e da síntese: o método da resolução e da composição’. Mas isso não é o bastante: devemos verificar a exatidão dos princípios (causas) aos quais chegamos através desse procedimento, submetendo-os à prova da experimentação, porque a ‘resolução’ pode ser obtida de mais de uma maneira e os efeitos a explicar podem ser deduzidos de mais de uma causa ou série de causas. (KOYRÉ, 1991, p.61-62).

Apesar de ambos, Descartes e Newton, utilizarem uma base metafísica e alguns axiomas como sustentáculo de seus métodos científicos, a alternância entre estes métodos de análise e síntese para “dissecar” a natureza e estabelecer uma nova Física, foi utilizada por Newton e não por Descartes. E Maclaurin completaria este raciocínio nos dizendo que:

É evidente que, tal como na matemática, também na Filosofia Natural a investigação das coisas difíceis, através do método de *análise*, deve sempre preceder o método de composição ou *síntese*. Isso porque, de qualquer outro modo, nunca poderíamos ter certeza de estar presumindo os princípios que realmente vigoram na natureza, e de que nosso sistema, depois de o compormos com grande trabalho, não seria um mero sonho ou ilusão. (MACLAURIN, 2002, p.161).

Maclaurin, na citação acima, percebeu claramente que, nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* e também na *Ótica*, uma boa investigação da natureza começava pelos efeitos observáveis e, a partir desses efeitos, seria possível chegar às causas particulares que geraram estes efeitos. Na seqüência das causas particulares, seria possível chegar as causas gerais: este seria o método da análise, conforme aplicado por Newton. Tendo em mãos essas causas gerais, Newton propôs uma inversão: a partir delas seria possível deduzir os efeitos observáveis e utilizar o método da síntese. A combinação dos métodos de “análise e síntese”, aliados a um grande aparato matemático tendo como base a Geometria Euclidiana e o Cálculo Infinitesimal, aplicados à Filosofia Natural, determinaram,

segundo Koyré (1991, p.170), o fim da Física do mais ou menos; com isto este filósofo e historiador quis dizer o fim definitivo da Física aristotélica das sensações. Para Koyré, a Física aristotélica, apesar de seu valor para as ciências físicas e astronômicas, por não ser matematizada, estava totalmente baseada nos sentidos e nas observações mais simples. Deste modo, o filósofo e historiador analisou a matematização da Física sob a luz do pensamento aristotélico e afirmou que:

O físico examina coisas reais; o geômetra examina razões em função de abstrações. Por conseguinte, sustenta Aristóteles, nada poderia ser mais perigoso do que misturar geometria e física, e aplicar um método e um raciocínio puramente geométricos ao estudo da realidade física. (KOYRÉ, 1991, p.161).

Todavia, ressaltamos que: Koyré (1991, p.73), por discordar da existência de um caráter instrumentalista na Física de Newton, não acreditava totalmente, como Cohen (2002, p.164) e Smith (2002, p.142), que propuseram e defenderam a existência de um “Estilo Newtoniano”, que Newton tivesse feito uso, em algum momento, do método indutivo ao escrever os *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* e a *Ótica*. Como vimos anteriormente, Koyré, em um texto posterior, levantou dúvidas discretas sobre este assunto. Porém, no texto *As Origens da Ciência Moderna - Uma Nova Interpretação*, Koyré ainda dizia que:

(...) não acredito que o nascimento e o desenvolvimento da ciência moderna possam explicar-se pelo fato de que o espírito se tenha desviado da teoria para a *práxis*. Sempre pensei que essa explicação não concordava com o verdadeiro desenvolvimento do pensamento científico, mesmo no século XVII. (KOYRÉ, 1991, p.67).

Concluindo esta seção, faremos um sumário do “Estilo Newtoniano”, conforme descrição de seu autor, Cohen, no livro *Um Guia para o Principia de Newton*:

a) Fase 1: O sistema matemático reproduziria o sistema físico idealizado. Os resultados e regras inferidos desse sistema matemático poderiam ser transferidos e re-utilizados em outro sistema matemático. Futuramente, os resultados e regras inferidos desse ou desses sistemas matemáticos seriam comparados e contrastados com os dados obtidos empiricamente, isto é, com a natureza.

b) Fase 2: Esta comparação e contraste com os dados empíricos geralmente provocaria ajustes na Fase 1. Estes ajustes levariam a outras deduções e novas comparações e contrastes com a natureza. E o ciclo se repetiria até que não houvesse mais dados para ajustes do modelo ou que estes dados fossem desprezíveis. Esta seria a forma de esgotar as “discrepâncias residuais”.

c) Fase 3: O sistema matemático utilizado ficaria mais complexo e geral e, isto dificultaria a comparação e o contraste com os dados empíricos. O modelo se aproximaria um pouco mais da natureza. Nesta fase não haveria mais as “discrepâncias residuais”.

d) Fase 4: O sistema matemático já não representaria a natureza simplificada e idealizada ou, melhor dizendo, um constructo matemático imaginário, mas sim, o mundo externo, a natureza como ela é ou o mais próximo possível dela.

Assim, nas palavras de Cohen:

O estilo newtoniano permitiu que Newton explorasse as propriedades de forças como a gravitação universal do ponto de vista da matemática, em vez da física. Sem se deixar inibir por considerações filosóficas, ele pôde desenvolver as leis da ação de uma força semelhante à gravitação em um análogo matemático do mundo da natureza. Nesse processo, pôde deixar de lado (momentaneamente) qualquer preocupação arraigada sobre como essas forças poderiam agir. Em documentos particulares, entretanto, e em muitas tentativas de explicar como era possível a ação da gravitação, ele apelaria para todos os campos inter-relacionados de suas crenças, dando o devido peso às questões mais amplas de natureza filosófica. (COHEN *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.179).

2.3

Sobre o Método dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural e da Ótica*

Face ao que foi discutido nas seções anteriores, concluímos que Newton, assim como Descartes e Bacon, dera uma enorme atenção ao método utilizado na elaboração de sua Física, porém, o método newtoniano era essencialmente diferente dos outros. Vimos também que, o novo método da Física moderna, chamado por Bacon de *novum organum* era: a) predominantemente experimental;

b) baseado na indução; c) quantitativo e d) não somente observacional. O objetivo maior deste novo método era, sem sombra de dúvidas, levar os filósofos da natureza a formularem leis e princípios baseados principalmente na matemática. Deste modo, para Cohen:

O objetivo newtoniano nos *Principia* foi mostrar que os ‘princípios matemáticos’ ou abstratos dos dois primeiros livros podiam ser aplicados ao mundo revelado pelos fenômenos, tarefa a que ele se dedicou no terceiro livro. Fazer isso, depois de Galileu, Kepler, Descartes e Huygens, não era revolucionário em si, embora o alcance dos *Principia* e o grau de aplicação confirmada bem possam ser designados dessa maneira e, portanto, constituir uma parte integrante da Revolução Newtoniana na ciência. (COHEN *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.165).

Contudo, o que Cohen chamou de “Revolução Newtoniana” não abrangeu somente os *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*. Para o comentador, teria sido na *Ótica* que Newton revelou sua verdadeira concepção do método científico experimental. Na Questão 31 desta obra, Newton declarou sua concepção metodológica de maneira mais precisa, a saber:

Tal como na matemática, também na Filosofia Natural a investigação das coisas difíceis pelo método de análise deve sempre preceder o método da composição [síntese]. Essa análise consiste em fazer experimentos e observações e deles extrair conclusões gerais, através da indução, e em não aceitar nenhuma objeção contra as conclusões senão as que forem extraídas de experimentos ou de outras verdades seguras. Pois as hipóteses não devem ser levadas em consideração na filosofia experimental. E, conquanto a argumentação advinda de experimentos e observações, através da indução, não constitua uma demonstração das conclusões gerais, ela é, ainda assim, a melhor forma de argumentação admitida pela natureza das coisas, e pode ser considerada tão mais sólida quanto mais geral for a indução. E, se não ocorrer nenhuma exceção a partir dos fenômenos, a conclusão pode ser afirmada em termos gerais. Mas se, em algum momento posterior, ocorrer qualquer exceção proveniente dos experimentos, a conclusão poderá começar a ser pronunciada com as exceções constatadas. Através desse modo de análise podemos proceder dos compostos para os ingredientes, e dos movimentos para as forças que os produzem, e, em geral, dos efeitos para suas causas, e das causas particulares para outras mais gerais, até que a argumentação termine no mais geral. Esse é o método de análise. [A síntese consiste em presumir descobertas pelas causas, e estabelecidos os princípios, através deles, explicar os fenômenos daí provenientes e demonstrar as explicações]. (NEWTON *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.151).

Segundo a análise de Cohen (2002, p.166), constatamos que Newton seguiu rigorosamente o roteiro descrito acima por ele mesmo. Assim, o método utilizado na elaboração da *Ótica* e dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* não poderia sugerir algo diferente. Outros comentadores vieram posteriormente a

corroborar a posição de Cohen e afirmaram através de exemplos mais concretos que Newton de fato seguira indiscriminadamente sua própria metodologia, utilizando e alternando os conceitos de “análise da Filosofia Natural” com o de “análise matemática”, conforme sua necessidade¹³. Por exemplo, de acordo com J. Bruce Brackenridge em seu artigo *A Dinâmica Madura de Newton*, o método básico de análise de Newton nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* poderia ser agrupado sob três “sub-métodos matemáticos” gerais, a saber: a) o método poligonal; b) o método parabólico e c) o método da curvatura. Estes “sub-métodos matemáticos” tinham como objetivo provar que uma força de impulso F direcionada para o centro de um círculo, agiria em cada “pedaço infinitesimal” deste círculo. Exemplos semelhantes a este também seriam encontrados na *Ótica*. Por sua vez, Alan E. Shapiro em seu artigo *Os Experimentos de Newton na Difração*, após uma longa digressão sobre a supressão das “franjas”, concluiu que:

A metodologia de Newton o compeliu a suprimir seu modelo [de propagação linear dos raios de luz e das “franjas”], porque era uma hipótese imposta sobre as observações e não a partir delas. Ele acreditava que hipóteses ou conjecturas não poderiam ser misturadas com a parte mais assertiva da ciência, o fenômeno ou princípio derivado do fenômeno. Tal coisa comprometeria a certeza dada pela ciência. (SHAPIRO, 2001, p.63).

De forma incontestável, Fernandes, explicou a posição de Newton utilizando-se de argumentos históricos, agregando as posições de Brackenridge e Shapiro com a de Cohen:

Acreditava-se normalmente que análise científica de conceitos empíricos sobre suas propriedades fosse possível, muito pelo sentido análogo no qual é possível desmontar uma máquina, ou dissecar um animal. E a síntese científica dos pensamentos era normalmente tida como possível, assim como é possível produzir uma síntese tecnológica de artefatos, ou uma “síntese” química da matéria. Assim, para Newton, era muito natural dizer que tal como nas matemáticas, na Filosofia Natural, o método (distinto) da análise deve sempre preceder o método (distinto) da síntese, sendo a análise experimental e indutiva, [e a] síntese dedução do fenômeno a partir de princípios estabelecidos. (FERNANDES, 1985, p.38).

A luz desses comentários acreditamos que, o que Newton pretendia com a descrição da sua versão dos métodos de análise e síntese seria: a) revelar, via

¹³ Como vimos anteriormente, Koyré parece discordar desta posição – ver citação das páginas 39-40 deste capítulo. Este filósofo fazia diferença entre os métodos de “análise” e “síntese” da matemática e seus homônimos da Filosofia Natural. Lembramos que a “análise” corresponderia à dedução e a “síntese”, à “indução”.

análise, resultados generalizados pela indução, percorrendo o caminho proveniente dos efeitos observáveis para as causas particulares e destas para as causas gerais e b) a partir das causas gerais, já declaradas como “princípios”, via síntese, fornecer explicações adequadas para os fenômenos observados, ou diretamente da natureza ou deduzidos de experimentos, fornecendo finalmente uma demonstração para as explicações de forma plausível. Contudo, Cohen teria algo mais a acrescentar:

O estudo cuidadoso, entretanto, mostra que o procedimento de Newton na Filosofia Natural experimental é exatamente o inverso da maneira como a ‘análise’ e a ‘síntese’ (ou a ‘decomposição’ e a ‘composição’) eram tradicionalmente usadas em relação à matemática (...). (COHEN *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.167).

Por sugestão do próprio Cohen (2002, p.167), para entrarmos no núcleo do método de Newton, teríamos que ter em mente o seguinte fato: a Filosofia Natural, para este pensador, constituía-se de uma mistura bem dosada entre as soluções matemáticas para os atos e propriedades naturais -- físicas -- e o estudo das causas físicas e metafísicas destes mesmos atos e propriedades naturais, nesta ordem. E a maior comprovação da veracidade da hipótese de Cohen sobre qual teria sido de fato o método utilizado por Newton, encontra-se nos escritos dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*.

Nesta obra, Newton iniciou seus escritos, os Livros I e II, questionando quais seriam as propriedades matemáticas de uma força, sem se preocupar com seu “tipo”, suas causas ou seu *modus operandi*. Somente no Livro III, Newton mergulhou nas causas físicas e metafísicas dessas forças, elaborando quatro importantes regras e terminando com um de seus mais proeminentes escritos metafísicos o “Escólio Geral”. A ligação profunda entre a matemática pura e a Física do movimento seria, de acordo com Cohen (2002, p.175), o traço mais marcante desta suntuosa obra onde, alguns aspectos da Filosofia Natural seriam reduzidos a princípios matemáticos, expostos ao leitor como exercícios de matemática e finalmente, novamente aplicados a problemas físicos. Resumindo, para Cohen (2002, p.176), foi a matemática e não a metafísica que mostrou que leis do movimento matematicamente descritivas eram equivalentes a um conjunto de condições causais de forças e movimentos - o que não significa dizer que a metafísica não estivesse presente nas causas primeiras dos fenômenos que obedeciam estas leis. E sobre a ampla utilização da matemática nos *Princípios*

Matemáticos de Filosofia Natural, Cohen fez uma importante observação relativa aos críticos e comentadores de Newton:

(...) embora essa mescla de matemática pura, derivada do movimento ou relacionada com ele, e problemas físicos de movimento possa tê-lo [a Newton] levado a obter resultados inauditos, de uma fecundidade espantosa, esse mesmo aspecto de seu trabalho tem causado enorme confusão entre seus críticos e intérpretes, desde aquela época. Em particular, eles nem sempre sabem quando Newton está falando no nível da matemática ou quando está no nível da física. Ou talvez tenham presumido que essa é uma distinção irrelevante e não se tenham dado ao trabalho de verificar se Newton, como matemático, pretendia em todos os pontos, nos *Principia*, ser entendido como físico. (COHEN *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.176).

Não acreditamos que mostrando o alcance da matemática para Newton em sua obra, Cohen retirou a importância da metafísica associada à Filosofia Natural newtoniana. Pelo contrário: pensamos que o comentador posicionou esta metafísica de forma que, tanto para aqueles que afirmam que ela não existiu na obra de Newton, quanto para aqueles que, de maneira oposta, afirmam que ela existiria, todos, sem exceção, reconheceram o seu verdadeiro lugar e importância para o desenvolvimento desta nova Física. Nas palavras de Cohen:

E foi a possibilidade de elaborar as conseqüências matemáticas das suposições relacionadas com possíveis condições físicas, sem ter que discutir a realidade física destas condições nas etapas mais iniciais, que marcou o estilo newtoniano. (COHEN *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.171).

Finalizando, face ao que foi descrito e proposto neste capítulo sobre o método, ou melhor, sobre o “Estilo Newtoniano”, nos próximos capítulos, principalmente no Capítulo 4, estaremos mostrando de que forma este “Estilo Newtoniano”, juntamente com uma “teologia heterodoxa” e uma metafísica “anticartesiana” -- no que se refere às investigações filosóficas do espaço, tempo e movimento -- formaram os principais alicerces da Física de Newton.